

AUMENTO DA UTILIZAÇÃO DO CONCENTRADOR II DA SAMARCO MINERAÇÃO S.A. APLICANDO A METODOLOGIA LEAN SEIS SIGMA¹

Edgar Rodo Mantilla²

Resumo

Desde o começo de operação do concentrador II em junho de 2008, o indicador percentual de utilização tem variado e, o não cumprimento das metas estabelecidas, impacta negativamente a produtividade e o resultado financeiro operacional deste concentrador. O percentual de utilização do concentrador II é um dos indicadores chave da árvore de valor da Samarco e, principalmente, do *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), pois é um dos fatores de multiplicação para avaliação da eficiência do processo produtivo. Este trabalho tem como objetivo mostrar como foi possível aumentar e melhorar a eficiência do concentrador II da Samarco através da aplicação da metodologia Lean Seis Sigma. A metodologia Lean Seis Sigma é baseada em cinco etapas de execução: *Define, Measure, Analyze, Improve e Control* (DMAIC). A sequência deste trabalho segue a execução do DMAIC detalhando as ferramentas estatísticas utilizadas, bem como as ferramentas gerenciais. Como resultado, foi possível aumentar a receita do concentrador II em R\$ 2.195.000,00 elevando o patamar operacional e tornando o processo produtivo mais eficiente para atender o mercado de pelotas de minério de ferro.

Palavras-chave: Utilização; Lean seis sigma; Concentrador.

INCREASING THE UTILIZATION OF SAMARCO'S CONCENTRATOR II APPLYING LEAN SIX SIGMA METHODOLOGY

Abstract

Since the Samarco's concentrator II start-up (june 2008) the Key Performance Indicator (KPI) percentage of utilization has varied and the non compliance of the targets has a negative impact in the productivity and operating financial results. The percentage of utilization it's a very important indicator in Samarco's value tree, especially in Overall Equipment Effectiveness (OEE) because is one of the multiply factors that evaluate the process efficiency. The objective of this paper is to show how we increase and improve the concentrator efficiency through the Lean Six Sigma. The Lean Six Sigma methodology is based on five stages: Define, Measure, Analyze, Improve and Control (DMAIC). The methodology of this paper follows de DMAIC sequence and shows statistical tools and management tools. As a result was possible to increase the revenue of the concentrator II in R\$ 2.195.000,00 raising the operational level and increasing the process efficiency to serve the iron ore pellet market.

Key words: Utilization; Lean six sigma; Concentrator.

¹ Contribuição técnica ao 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 26 de setembro de 2011, Vila Velha, ES.

² Engenheiro de Processo - Gerência de Engenharia de Processo e Automação – Unidade Germano - Samarco Mineração S.A.

1 INTRODUÇÃO

O *start-up* do Concentrador II da Samarco foi em junho de 2008. Desde o começo de operação o percentual de utilização deste concentrador tem variado e, o não cumprimento das metas estabelecidas, impacta negativamente a produtividade e o resultado financeiro operacional deste concentrador.

O percentual de utilização do concentrador II é um dos indicadores chave da árvore de valor da Samarco e, principalmente, do OEE, pois é um dos fatores de multiplicação para avaliação da eficiência do processo produtivo. A utilização do concentrador, expresso em porcentagem, é o tempo em que este realmente operou enquanto esteve disponível. Diferente do conceito de disponibilidade, a utilização é medida em função das restrições operacionais da planta. A Figura 1 mostra o gráfico com o comportamento deste indicador em função do tempo.

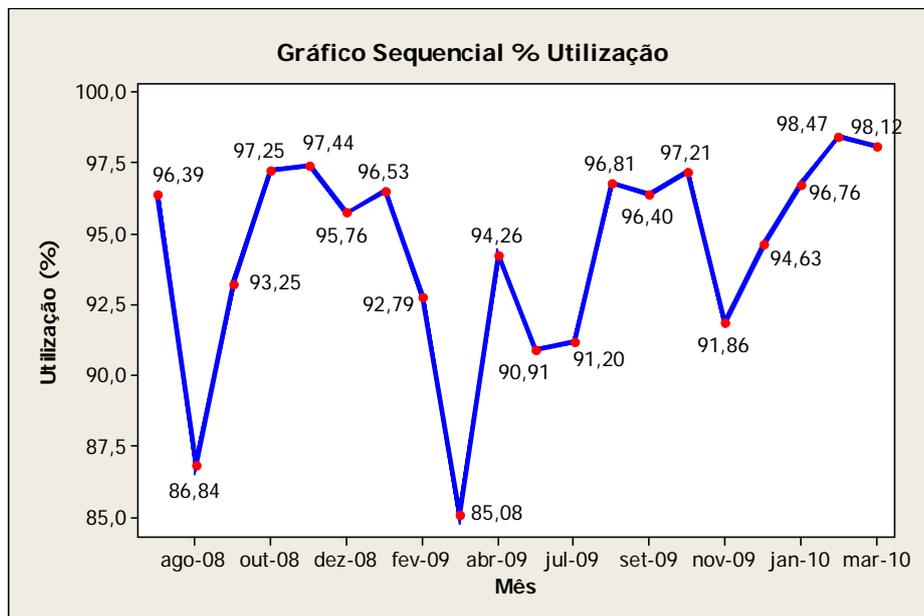


Figura 1. Gráfico sequencial com o histórico do %utilização desde o *start-up* até março de 2010.

Observa-se no gráfico da Figura 1 que a variabilidade do indicador é alta, chegando a uma amplitude de 13,39 pontos percentuais e um valor mínimo de 85,08%. Apesar do indicador ser influenciado por processos anteriores e posteriores ao concentrador, optou-se por trabalhar com ele por ter um grande potencial de ganho para a empresa.

O objetivo do presente trabalho é mostrar como a metodologia Lean Seis Sigma alavancou este indicador a patamares avançados de operação e trouxe ganhos financeiros para a Samarco.

O programa de implementação da “cultura” Lean Seis Sigma na Samarco teve início em 2007, com a busca de uma abordagem que propiciasse à Samarco, de maneira estruturada, um aumento da eficiência de seus processos. Esta metodologia conjuga o Lean que visa aumentar a velocidade e reduzir perdas dos processos com o Seis Sigma, cujo foco principal é a aplicação da estatística, ferramentas de qualidade e de método estruturado para atuar na redução da variabilidade dos processos, de forma a atender os objetivos da Samarco.⁽¹⁾

A metodologia Lean Seis Sigma é baseada em cinco etapas de execução (DMAIC): *Define*, cujo foco é levantar a oportunidade de ganho, definir a equipe e formular a meta; *Measure*, que tem como objetivo validar o sistema de medição, calcular a capacidade inicial do projeto e ações de “Ver e Agir”; *Analyze*, que visa detalhar o processo, priorizar as causas do problema e analisar a relação estatística das

variáveis; *Improve*, com foco no levantamento e priorização das soluções para as causas fundamentais do problema, formulação do plano de ação e cálculo da nova capacidade do processo; *Control*, cujo objetivo é montar um plano de sustentabilidade dos resultados e calcular os ganhos financeiros do projeto.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A sequência de execução do projeto foi baseada no DMAIC descrito na secção 1. Definiu-se a data de início e fechamento do projeto em 01/02/2010 e 15/10/2010, respectivamente.

2.1 Define

O escopo do projeto engloba somente o concentrador II, sendo que o sistema de britagem e peneiramento não fazem parte das atuações do trabalho. Elaborou-se um gráfico seqüencial com o histórico do indicador diário, Figura 2. Observa-se nesse gráfico que a variabilidade é grande e a média do indicador no período *baseline* de setembro de 2009 a março de 2010 é de 96,16%.

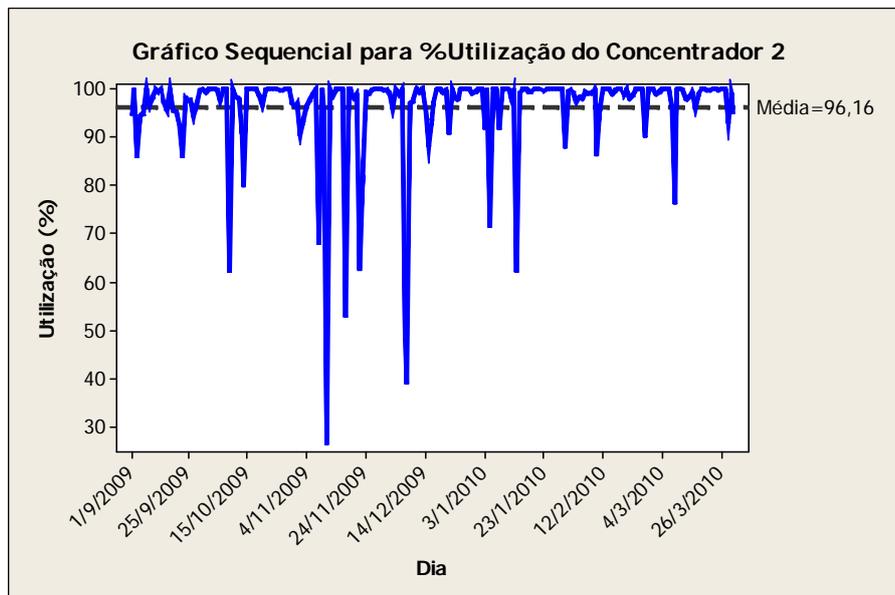


Figura 2. Gráfico seqüencial diário mostrando o comportamento do indicador e a média.

A meta proposta foi baseada em um trabalho corporativo realizado na Samarco em 2009, chamado *agenda de valor*. A proposta da agenda de valor era realizar em 2010 uma utilização média de 96% e, em 2011, uma média de 97%.

Na Figura 3 visualiza-se melhor o comportamento do indicador, onde é possível ver a média e a meta proposta para o projeto.

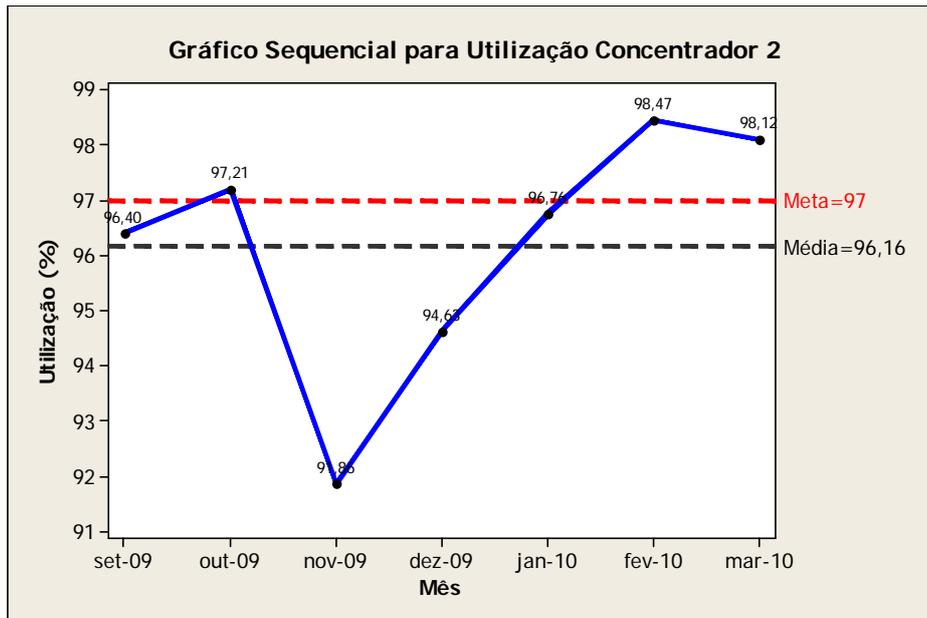


Figura 3. Gráfico sequencial mostrando o comportamento do indicador mensal, a média e a meta proposta.

Baseado nestas informações a meta do projeto Lean Seis Sigma foi definida como: aumentar a utilização de 96,16% para 97,00% do concentrador II até 15 de outubro de 2010.

Após a formulação da meta, definiu-se uma equipe multidisciplinar para a execução do projeto com profissionais de várias áreas da empresa como técnicos de controle de produção, operadores, engenheiros de processo, chefe de equipe instrumentação/elétrica e técnico de manutenção.

2.2 Measure

Nesta etapa do trabalho validou-se o sistema de medição, avaliou-se o nível sigma inicial do projeto e foi implementado ações de “Ver e Agir”.

2.2.1 Validação do sistema de medição

Para a validação do sistema de medição comparou-se os valores do %utilização calculado automaticamente pelo sistema da Samarco (MES), com os valores calculados “manualmente” baseados em dados de relatórios de paradas e restrições do concentrador. Na Figura 4 apresenta-se o *boxplot* evidenciando as duas médias para os dois tipos de cálculos. Observe que as médias são muito próximas.

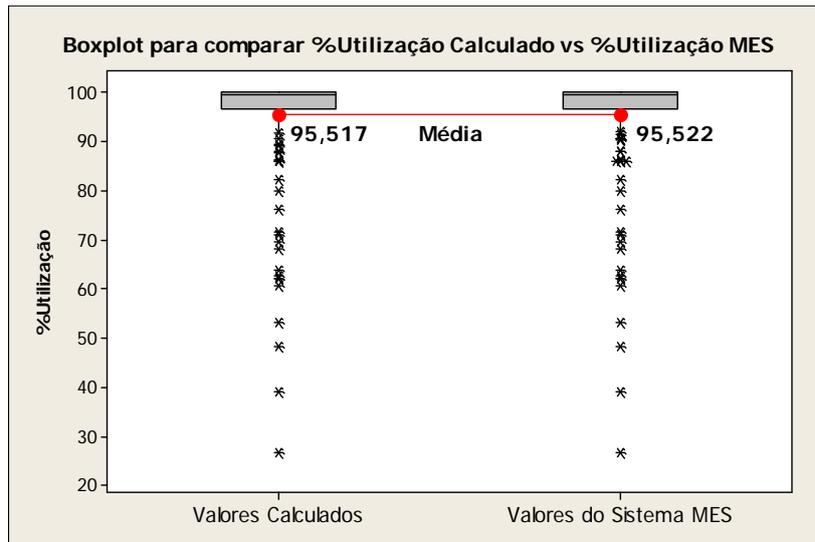


Figura 4. Boxplot com os dados calculados e os dados retirados do sistema da Samarco.

Para a comparação das médias dos dois grupos amostrais utilizou-se o teste de hipótese *Paired T*, sendo μ_1 : valores calculados e μ_2 : valores do sistema da Samarco.

Baseado nas hipóteses,
$$\begin{cases} H_0: \mu_1 = \mu_2 \\ H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \end{cases}$$

foi realizado o teste de hipótese e o p-valor resultante foi 0,766.

Quando o p-valor fica acima de 0,05 aceita-se a hipótese H_0 e pode-se afirmar estatisticamente que não há diferença entre as médias, ou seja, podemos afirmar que não há evidência de que as médias dos dois grupos amostrais sejam diferentes, concluindo que os cálculos realizados pelo sistema da Samarco são confiáveis.

2.2.2 Itens de maior influência na utilização

Como dito anteriormente este indicador é influenciado por outros processos, sendo eles posteriores ou anteriores ao concentrador II. Perante a isso, foi realizado um gráfico Pareto para a avaliação dos motivos de restrição que afetam o indicador. Nele, pôde-se reunir três motivos principais em que não temos atuação: restrições operacionais devido a outra unidade da Samarco (UBU); restrições operacionais devido ao Mineroduto 2; e restrições dos processos anteriores ao concentrador II. Somando esses três itens, totalizam-se 30% das causas de restrição do concentrador II.

Posteriormente, formulou-se outro Pareto retirando os três motivos de restrição em que não temos atuação, Figura 5.

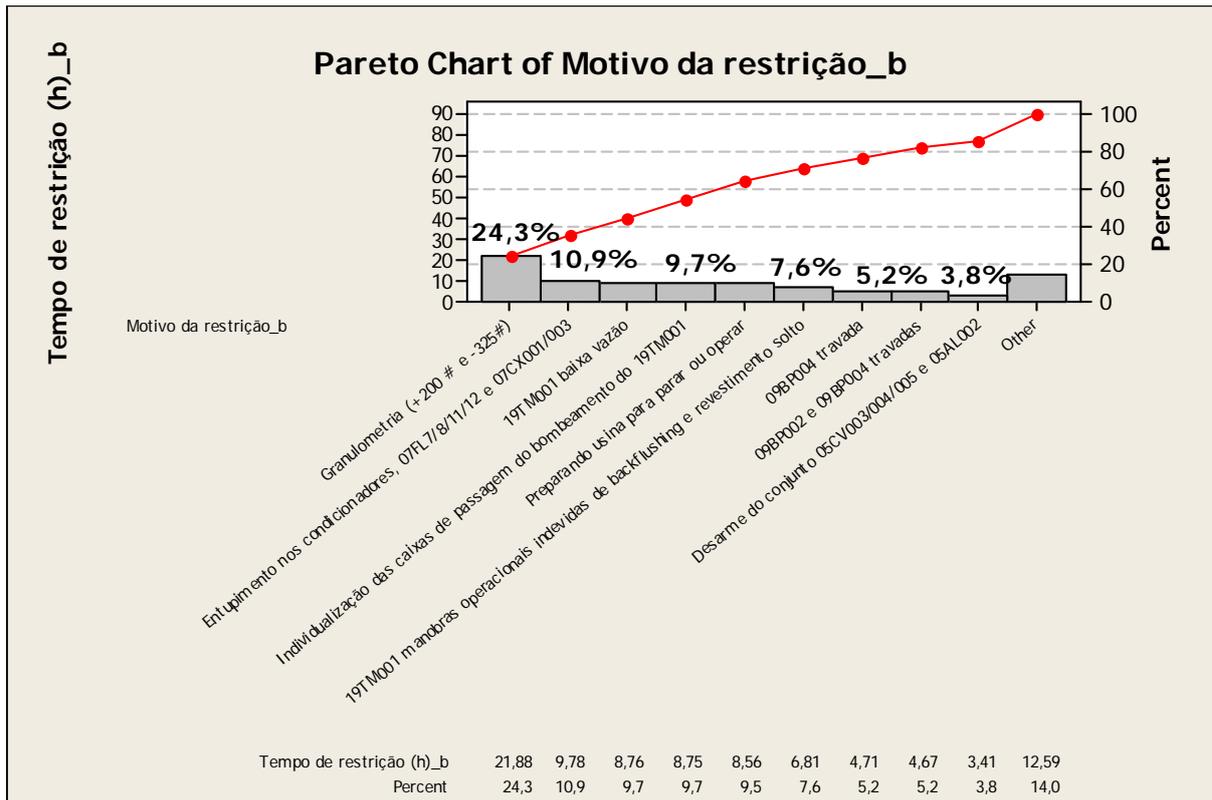


Figura 5. Gráfico de Pareto com os principais motivos de restrição do concentrador II.

Pode-se concluir então, que, os principais motivos que restringem a alimentação do concentrador II, e itens que serão priorizados no decorrer do trabalho, são: granulometria fora de especificação (24,3%), entupimento no processo de flotação mecânica (10,9%), baixa vazão no sistema de bombeamento de rejeito (17,3%), preparando a usina para operar e parar (9,7%), bombas das descargas dos moinhos secundários 09BP002/004 travadas (10,4%) e desarmes do conjunto de correias transportadoras da alimentação do concentrador II 05CV003/004/005 e alimentador de placa 05AL002 (3,8%).

2.2.3 Análise de capacidade

Em função da meta proposta do projeto, calculou-se o nível sigma inicial = $2,25\sigma$, Defeitos Por Milhão Observado (DPMO) = 225.490 ppm e Yield = 77,5%.

2.2.4 Ver e Agir

Dos 204 dias analisados do período *baseline*, foram identificados quatro dias em que houve erros ao comparar os valores calculados e os valores retirados no sistema da Samarco.

A ação inicial tomada foi contatar a TI para entender o problema e abrir chamados para identificação e resolução. Pode-se dividir as ações e os tipos dos problemas de duas maneiras diferentes. O primeiro tipo foi identificado e resolvido atualizando a versão do MES em dezembro de 2009. Já o segundo tipo de problema foi identificado um erro no algoritmo de cálculo do MES e solucionado no segundo semestre de 2010.

2.3 Analyze

A terceira etapa do DMAIC tem como finalidade identificar as fontes de variação (xs) que aumentam a variabilidade do processo e que são responsáveis pela geração de “defeitos”.⁽²⁾

Inicialmente foi elaborado um mapa de processo com o objetivo de detalhar e documentar o conhecimento sobre o processo, relacionando as suas variáveis com as saídas. Logo, realizou-se um *brainstorming* onde foram levantados qualitativamente cinquenta e duas potenciais causas (xs) que afetam o baixo %utilização. Então, após uma matriz de priorização, foram priorizadas qualitativamente vinte principais causas que afetam a baixa utilização do concentrador II, logo, foram classificadas em uma matriz de esforço x impacto, resultando em treze causas em que devemos atuar (Figura 6).

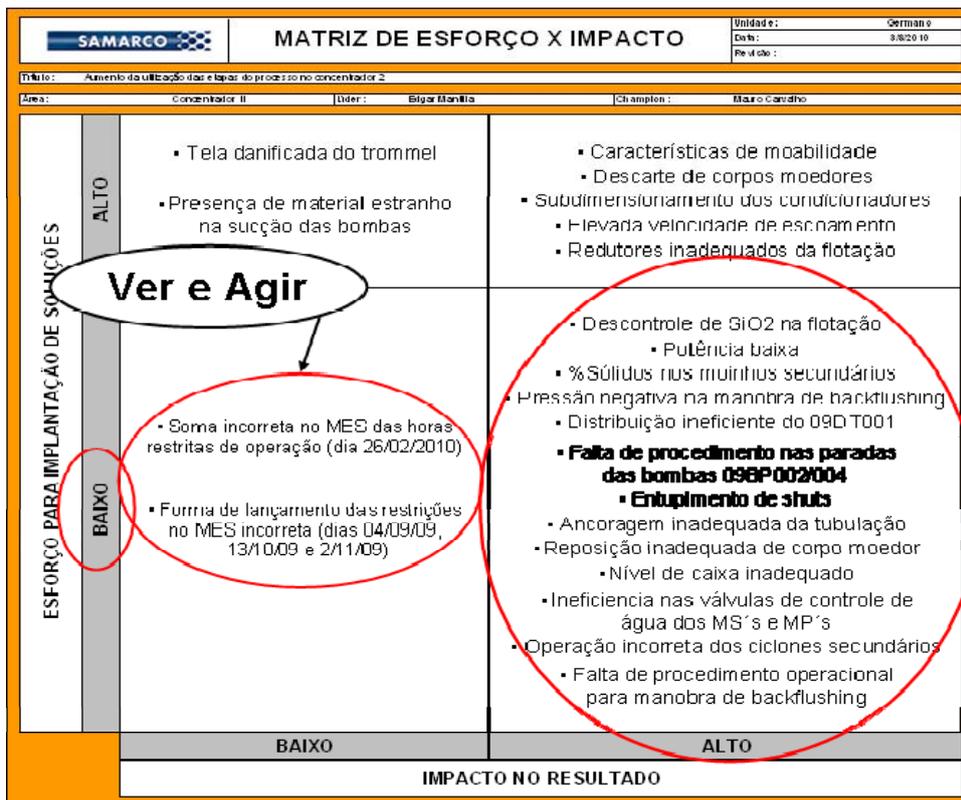


Figura 6. Matriz de esforço x impacto.

Formulou-se um diagrama de relações para visualizar a ligação e a influência dos xs priorizados com o indicador (Figura 7).

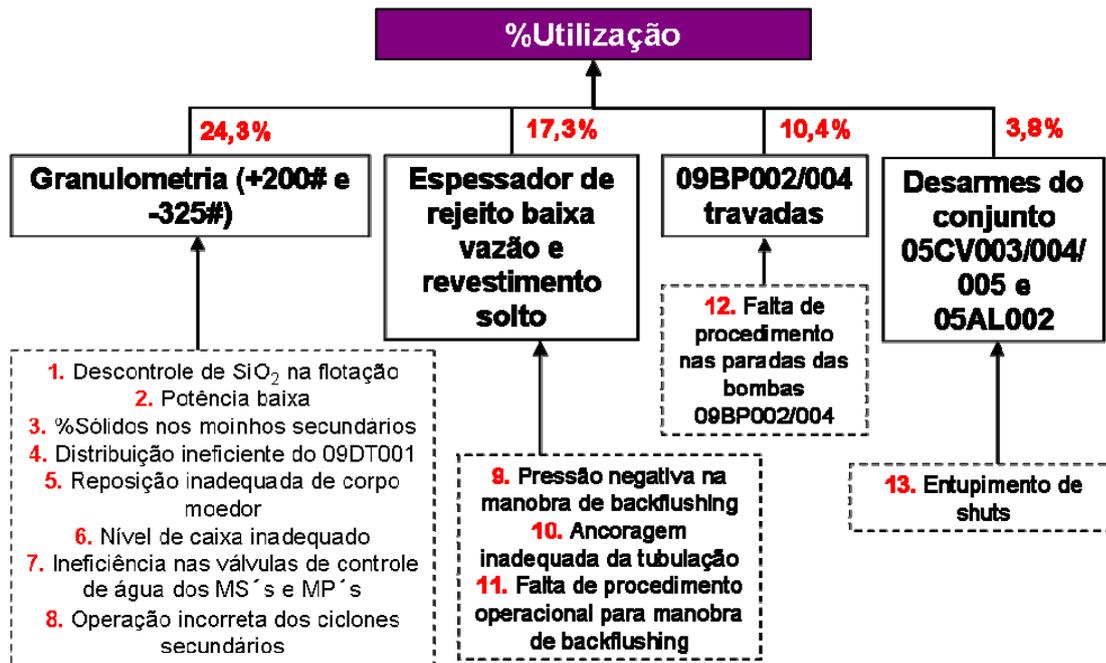


Figura 7. Diagrama de relações.

Percebe-se na Figura 7 a sequência e a quantidade de xs priorizados devido a influência no indicador. Esses xs foram levados a próxima etapa da análise.

Finalmente, elaborou-se o mapa de análise estatística para comprovar a influência quantitativa das causas de “alto impacto e baixo esforço” no %utilização.

Sendo, que das treze causas, nove são possíveis de comprovar estatisticamente (Tabela 1).

Tabela 1. Análise estatística da influência dos xs priorizados em relação ao Y

x's priorizados	Tipo	Ferramenta Estatística	Impacto	x(s) analisado(s)	Y analisado
1. Descontrole de SiO ₂ na flotação	Contínuo	Análise de Regressão Simples	55,6%	%SiO ₂ na flotação convencional	+200#
2. Potência baixa nos moinhos secundários	Contínuo	Análise de Regressão Simples	87,9%	Potência MS1	-325#
3. %Sólidos nos moinhos secundários	Contínuo	Análise de Regressão Múltipla	21,6%	%Sólidos MS1 e MS2	k (constante cinética de moagem)
4. Distribuição ineficiente do 09DT001	-	-	Balanco	-	-
5. Reposição inadequada de corpo moedor	A consequência deste x já está mensurado no x2 (potencia baixa do moinho)				
6. Nível de caixa inadequado	Contínuo	Análise de Regressão Múltipla	14,0%	Nível da 09CX001, nível e desvio padrão da 09CX003 e pressão dos ciclones secundários	-325#
7. Ineficiência nas válvulas de controle de água dos MS's e MP's					
8. Operação incorreta dos ciclones secundários	-	-	-	-	-
9. Pressão negativa na manobra de backflushing	-	-	-	-	-
10. Ancoragem inadequada da tubulação	-	-	-	-	-
11. Falta de procedimento operacional para manobra de backflushing	-	-	-	-	-
12. Falta de procedimento nas paradas das bombas 09BP002/004	-	-	-	-	-
13. Entupimento de shuts	Discreto	ANOVA	3,2%	Atributo (sim ou não)	%Utilização

A seguir descreveu-se as ferramentas estatísticas utilizadas somente dos dois primeiros xs.

O primeiro x analisado é o descontrole do percentual de SiO₂ no concentrado da flotação mecânica. Utilizou-se a regressão simples como ferramenta estatística para essa comprovação, pois o Y e o x analisados são variáveis contínuas, Figura 8.

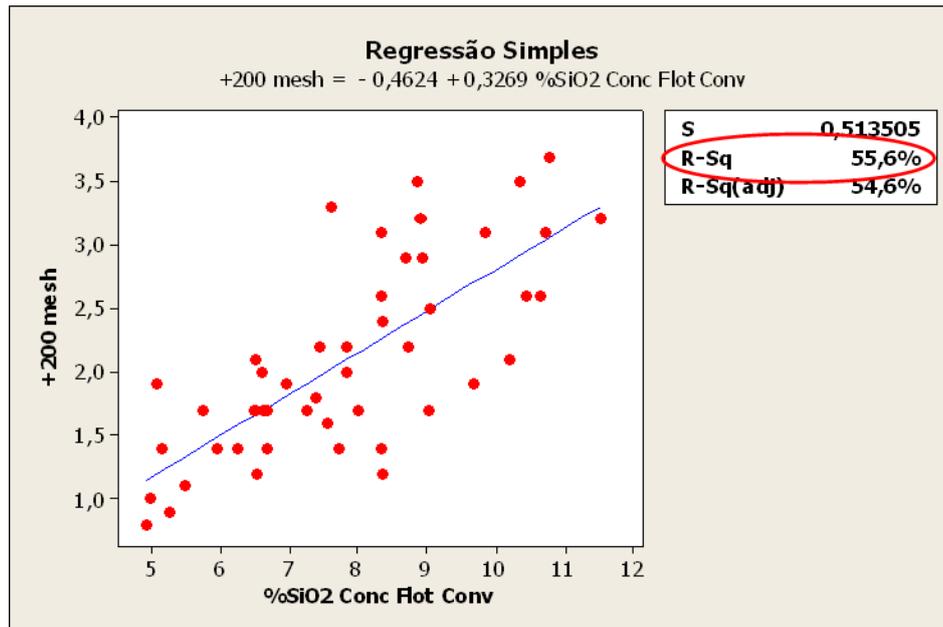


Figura 8. Análise de regressão simples do x1.

Pode-se concluir com a análise de regressão acima, que %SiO₂ no concentrado da flotação mecânica explica 56% da variação da granulometria representada pelo +200#. Tecnicamente, a dureza do quartzo é maior do que a hematita, portanto, alimentando a moagem secundária (processo posterior a flotação mecânica) com altos teores de SiO₂, a probabilidade de se obter um material grosseiro, fora de especificação, é maior, tendo como consequência a restrição operacional da planta e diminuição do indicador de utilização.

A segunda variável analisada foi a potência baixa nos moinhos secundários, que apresenta a mesma idéia de influência da granulometria fora de especificação na utilização do concentrador. Foi aplicado novamente a regressão simples para avaliação desta relação, e pôde-se concluir que 88% da variação da granulometria representada pelo +200# pode ser explicada pela variação da potência dos moinhos secundários. Uma informação importante é sobre os xs 4 e 13. O x4 (distribuição ineficiente do distribuidor de polpa para os moinhos secundário 01 e 02) será descartado do projeto pois, após algumas modificações no próprio distribuidor, ficou comprovado através de balanços de massa que este não apresenta mais o problema inicial. Já o x13 (entupimento de shut de alimentação dos moinhos primários) comprovou-se que a influência no Y é baixa (3,2%) descartando-o do restante do projeto.

Ao final desta etapa levou-se 11 xs comprovados estatisticamente para a próxima etapa de análise que é o improve.

2.4 Improve

Nesta etapa inicialmente deve-se gerar idéias sobre as soluções potenciais para a eliminação das causas priorizadas na etapa *analyze*.⁽³⁾ Logo, priorizam-se as potenciais soluções e tomam-se as ações sobre o processo para melhorá-lo. Ao final, avalia-se o novo nível sigma do processo e comprova-se se houve alguma melhoria significativa.

A primeira ferramenta utilizada foi novamente uma reunião de *brainstorming* onde foi levantado trinta e cinco possíveis soluções para as causas priorizadas. Logo, priorizou-as através de uma matriz de priorização levando em consideração o impacto no resultado, facilidade de implementação e custo. Restando então sete soluções, elaborou-se um plano de ação 5W2H para a implementação das mesmas (Tabela 2).

Tabela 2. Plano de ação

O QUE	PLANO DE AÇÃO - 4W2H					
	COMO	QUANDO	QUEM	ONDE	CUSTO	STATUS
Rever e modificar a ancoragem das tubulações do espessador de rejeito	Modificando e trocando o sistema de ancoragem da tubulação	30/4/2010	Airton Silva	Tubulação do espess. de rejeito	R\$ 0	Concluído
Estudar e implementar o %sólidos ideal	Fazendo testes em moinho piloto e implementando industrialmente	15/9/2010	Edgar Mantilla	LCP e Moagem Secundária	R\$ 0	Concluído
Definir/documentar/divulgar metas de SiO ₂ CLS e CNS na flotação convencional	Realizando estudo estatístico dos dados e implementando industrialmente	30/9/2010	Guilherme Araújo e Edgar Mantilla	Flotação Convencional	R\$ 0	Concluído
Substituir a carga de corpo moedor do MS2 de cylpebs para bolas	Repondo cylpebs no moinho secundário 2 diariamente	16/8/2010	Sérgio Vasconcelos	Moinho Secundário 2	R\$ 0	Concluído
Instalar placa de orifício na linha de backflushing do bombeamento de rejeito	Instalando placa de orifício na tubulação do backflushing	15/9/2010	Airton Silva	Linha de backflushing do espess. de rejeito	R\$1.200	Concluído
Testar em flotação em bancada e implementar industrialmente uma dosagem ideal de reagentes	Realizando testes de flotação em bancada e implementando industrialmente	28/7/2010	Edgar Mantilla	LCP e Flotação Convencional	R\$ 0	Concluído
Repotenciar o eixo das válvulas	Trocando para um tipo de material mais resistente e aumentando o diâmetro do eixo	31/5/2010	Edmar Borges	Caixas dos moinhos secundários	R\$ 2.000	Concluído

Após a implementação das melhorias, elaborou-se um gráfico seqüencial para comprovar a efetividade das ações, Figura 9.

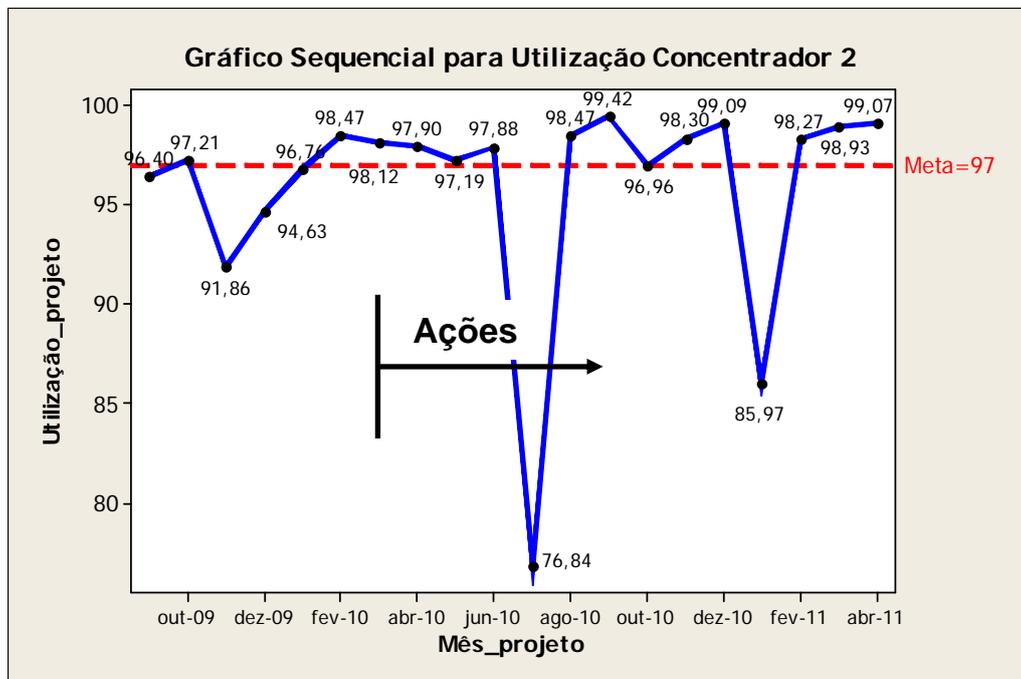


Figura 9. Gráfico seqüencial mostrando o comportamento do indicador após as ações de melhoria do projeto.

Observa-se no gráfico da Figura 11 que após a implementação das ações de melhoria, estamos performando em patamares acima da meta estabelecida. Fica evidente que nos meses de julho 2010 (76,84%) e janeiro 2011 (85,97%) obtivemos resultados abaixo do esperado, justificados exatamente, como já mencionado neste trabalho, sobre a influencia dos processos anteriores e posteriores ao concentrador II no indicador. Nesses dois meses tivemos uma disponibilidade abaixo da meta estabelecida no mineroduto 2 e no sistema de correias da britagem e peneiramento. Finalizando a etapa do *control* avaliou-se os novos nível sigma do projeto = $2,58\sigma$, Defeitos Por Milhão Observado (DPMO) = 141.176 ppm e Yield = 85,9%.

2.5 Control

O principal objetivo do *control* é dar sustentabilidade ao projeto, ou seja, através de ferramentas gerenciais, oferecer suporte aos donos do processo para que possam monitorar as principais fontes de variação (xs) e manter o atendimento do indicador em relação a meta.

Para isso, alterou-se a norma de processo da etapa de flotação mecânica e documentou-a no sistema informatizado de normas da Samarco. A norma revisada foi anexada na cabine da flotação, Figura 10a. Paralelamente, foi anexado no quadro de gestão a vista da sala de controle o gráfico seqüencial do indicador (%utilização), Figura 10b.

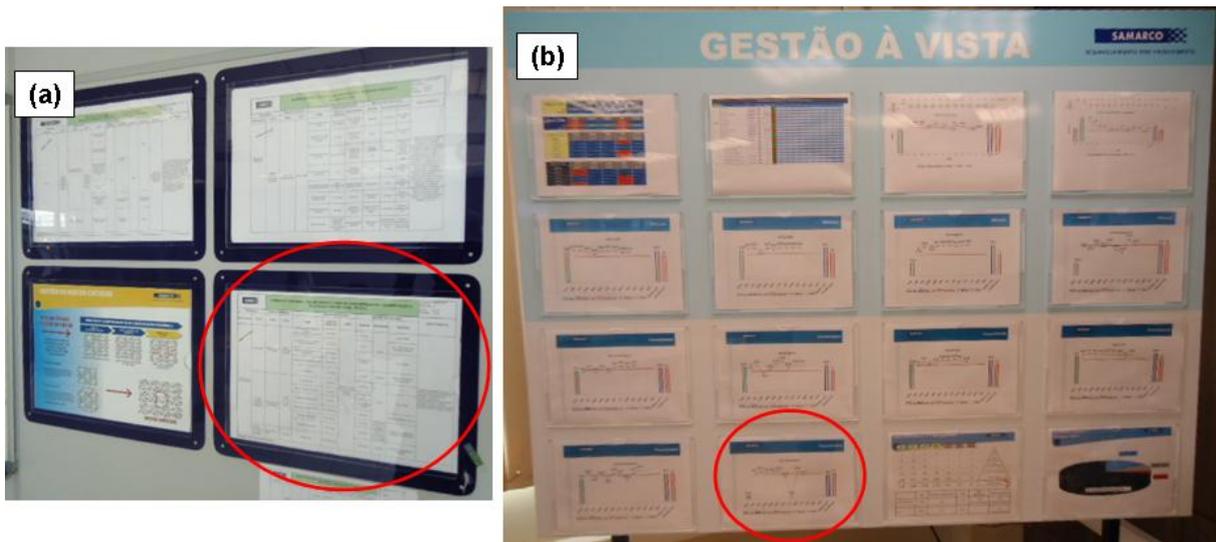


Figura 10. Foto ilustrando (a) a norma revisada anexada na cabine de flotação (b).

Logo, implementou-se um *Out of Control Action Plan* (OCAP) que é um plano para a tomada de ações corretivas, quando o indicador estiver fora da meta especificada. Finalmente, foi agendada uma reunião com o dono do processo (chefe do departamento do concentrador II) e sua equipe, para o nivelamento e repasse do projeto.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tomando como referência o valor médio do indicador no período *baseline* (96,16%) e a utilização média praticada entre os meses de novembro 2010 e abril 2011 (96,61%), foi possível chegar a um ganho financeiro capturado nos seis meses pós término do projeto.

Apesar de que no mês de janeiro 2011 o indicador ter sofrido forte influência de outro processo, processo este fora do escopo do projeto, decidiu-se por incluir este mês na média do indicador para o cálculo final da captura do ganho.

Para fim, comparou-se o aumento de produção do concentrador II performando nos dois patamares descritos acima, com as seguintes premissas fixadas no orçamento de 2010: alimentação do concentrador II, disponibilidade, recuperação em peso e margem de *pellet feed*.

Após os cálculos, pôde-se chegar a um ganho financeiro, resultando em aumento de receita para a Samarco, de R\$ 2.195.000,00, capturados nos meses de novembro 2010 a abril 2011 (6 meses).

4 CONCLUSÃO

Foi possível aumentar a receita do concentrador II da Samarco através de um projeto Lean Seis Sigma.

Focado em um indicador crítico, este projeto conseguiu elevar o patamar operacional e, principalmente, aumentar a eficiência do processo produtivo da Samarco. Tornando o concentrador II em um processo industrial mais robusto e apto a atender as demandas do mercado de pelota.

Conseqüente foi possível capturar ganhos financeiros expressivos na ordem de R\$ 2.195.00,00 até abril 2011, aumentando a receita da Samarco e influenciado positivamente o OEE e *Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization* (EBTIDA) Samarco.

Agradecimentos

O autor agradece a toda equipe Lean Seis Sigma que se doaram para o sucesso do projeto. São eles: Alexandre Camilo, Jackson Teixeira, Renato Luis, Edmar Borges, Márcio Neiva, Airtton Silva, Paulo Oliveira, Valdiney Chaves e todos os outros que participaram e contribuíram de maneira exemplar.

E a Samarco Mineração S.A. pela oportunidade.

REFERÊNCIAS

- 1 Revista Samarcop. p. 4-5, 2009.
- 2 SETA desenvolvimento gerencial. Disponível em: <<http://www.setadg.com.br/textos/6/seis-sigma.html>>. Acesso em: 21 de junho de 2009.
- 3 WERKEMA, Cristina. Criando a cultura Seis Sigma. 3. ed. Minas Gerais: Werkema, 2004. (Seis Sigma;v.1).